

Les répercussions de la biologie synthétique sur la région  
**L'ASIE-PACIFIQUE**





Construction des capacités  
internationales pour  
l'évaluation et la gouvernance  
de la biologie synthétique



african centre for biodiversity



monitoring power  
tracking technology  
strengthening diversity

TWN  
Third World Network

## L'Asie-Pacifique. Les répercussions de la biologie synthétique sur la région

2018

**A propos du Centre africain pour la biodiversité (ACB, African Centre for Biodiversity) :** Le Centre Africain pour la Biodiversité (ACB) s'engage à démanteler des inégalités dans les systèmes alimentaires et agricoles en Afrique, à notre conviction du droit des peuples à jouir d'une alimentation saine et culturellement adaptée, produite grâce à des méthodes écologiques et durables, ainsi qu'au droit des peuples à définir leurs propres systèmes alimentaires et agricoles. (Veuillez noter : Le 7 avril 2015, le Centre africain pour la biosécurité a officiellement été rebaptisé pour devenir le Centre africain pour la biodiversité (<http://acbio.org.za/en>). Ce changement a été convenu après consultation au sein de l'ACB pour refléter la façon dont la portée de notre travail a évolué ces dernières années. Nous préserverons notre ancien nom d'African Centre for Biosafety pour toute publication antérieure à cette date ; ces publications doivent être référencées en tant que telles.)

**A propos du Groupe ETC :** Le Groupe ETC ([www.etcgroup.org](http://www.etcgroup.org)) travaille pour aborder les problèmes socio-économiques et écologiques liés aux nouvelles technologies qui pourraient avoir un impact sur les populations les plus marginalisées au monde. Il opère au niveau politique mondial et travaille en étroite collaboration avec des organisations de la société civile (OSC) et avec les mouvements sociaux, en particulier en Afrique, en Asie et en Amérique Latine. Le Groupe ETC est basé à Val David, au Canada et à Davao, aux Philippines, avec des bureaux à Mexico et à Guelph, au Canada.

**A propos du Réseau Tiers-Monde, TWN, Third World Network :** Third World Network ([www.twn.my](http://www.twn.my)) est un réseau international indépendant à but non-lucratif qui rassemble des organisations et des individus impliqués dans des enjeux relatifs au développement durable, aux Pays du Sud et aux relations Nord-Sud. TWN vise à approfondir la compréhension de dilemmes liés au développement ainsi que des défis auxquels font face les pays en voie de développement afin de contribuer à des changements en matière de politiques publiques pour un développement juste, équitable et écologiquement durable. Le Secrétariat international de TWN est basé à Penang, en Malaisie avec des bureaux à Kuala-Lumpur, en Malaisie et à Genève, en Suisse. Nos chercheurs sont basés à Beijing, Delhi, Jakarta, Manille et New York. Le Secrétariat régional d'Amérique Latine est quant à lui situé à Montevideo, en Uruguay et le Secrétariat régional africain se trouve à Accra, au Ghana.

Ce document a été élaboré dans le cadre du projet BICSBAG de **Construction internationale de capacités pour l'évaluation et la gouvernance de la biologie synthétique** (en anglais Building International Capacity on Synthetic Biology Assessment and Governance). Les partenaires du BICSBAG tiennent à remercier Swedbio du Centre de résilience de Stockholm pour son soutien financier et Frontier Co-op Foundation et CS Fund pour l'élaboration de ces documents.

Pour de plus amples informations, consulter [www.synbiogovernance.org](http://www.synbiogovernance.org)

Maquette : Cheri Johnson

Traduction en français : Amandine Semat



## Construction des capacités internationales pour l'évaluation et la gouvernance de la biologie synthétique

# L'Asie-Pacifique. Les répercussions de la biologie synthétique sur la région

## Introduction

Après avoir passé 20 ans à expérimenter ce que sont les OGM, l'industrie mondiale de la biotechnologie engage aujourd'hui une plateforme de nouvelles techniques de génie génétique, que la Convention sur la diversité biologique (CDB) appréhende en termes de biologie synthétique.

Ces nouvelles techniques de biologie de synthèse (ou « *syn bio* » en anglais) comprennent entre autres la synthèse de gènes, l'édition génomique et le forçage génétique (*gene drive* en anglais), qui débouchent pour certaines sur la production d'organismes et de produits déjà commercialisés pour la fabrication artificielle d'arômes, de parfums et d'ingrédients dans des cuves fermées et dont l'objectif est la dissémination dans l'environnement de nouveaux organismes génétiquement modifiés (ou dont les gènes sont édités par le biais de l'édition génomique) visant à transformer l'agriculture ou les écosystèmes naturels.

Définie par les gouvernements siégeant à l'OCDE comme une « technologie de rupture », cette seconde vague d'OGM promet, comme dans le cas de la première génération d'organismes génétiquement modifiés, de réels impacts environnementaux, sociaux et culturels sur les populations de l'Asie-Pacifique, ainsi que sur la biodiversité de cette région du monde. Les gouvernements et la société civile tentent maintenant de toute urgence d'identifier et d'évaluer les impacts potentiels de cette nouvelle vague de biologie synthétique avant qu'elle ne déferle sur les pays de la région.

L'industrie de la biologie de synthèse menace en effet les économies traditionnelles et les moyens de subsistance qui reposent sur les produits naturels botaniques. Elle remet en cause les trop fragiles régimes de biosécurité, et ouvre de nouvelles voies à la biopiraterie numérique. Le présent article se propose de réfléchir sur les leçons tirées de la première génération d'OGM par les pays d'Asie-Pacifique et d'identifier quelques-uns des problèmes émergents sur le continent à mesure que la vague de biologie synthétique prend de l'ampleur.

## De la première à la deuxième génération d'OGM : histoire de la première génération de génie génétique dans la région

La zone Asie-Pacifique est extrêmement diverse, et c'est aussi le cas des postures prises par les pays de la région face au génie génétique. En ce qui concerne la commercialisation de cultures génétiquement modifiées (GM), plusieurs pays ont

déjà accepté depuis quelques temps de cultiver ce type d'organismes, comme l'Australie avec le colza et le coton, la Chine avec le coton et le peuplier, l'Inde avec le coton et les Philippines avec le maïs. Plus récemment, le Bangladesh (aubergine),



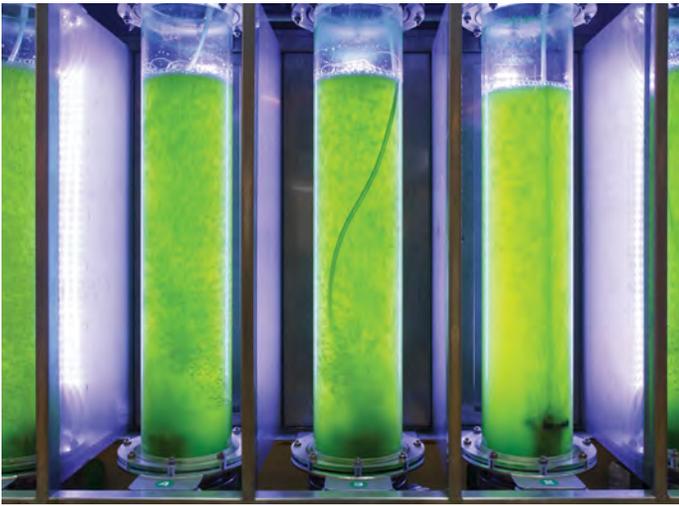
le Myanmar (coton), le Pakistan (coton) et le Vietnam (maïs) ont rejoint les rangs de ces pays. D'autres, comme la Malaisie, n'autorisent pas la commercialisation mais ont accepté la présence d'organismes GM dans les aliments destinés aux êtres humains, la nourriture destinée aux animaux, ou dans les produits transformés[1].

Parallèlement à cela, certains restent très sceptiques face à ces cultures qui les inquiètent. Le Japon et la Corée sont en particulier très circonspects quant aux aliments génétiquement modifiés et le Bhoutan a interdit l'import, le transit, l'introduction intentionnelle dans l'environnement, l'utilisation (y compris confinée) ainsi que la recherche et le développement de tout organisme GM capable de se reproduire[2]. Au mois de février 2016, on estimait à 87 167 hectares l'extension totale des zones libres d'OGM au Japon[3]. Même dans les pays où ces cultures commerciales sont autorisées, l'opposition demeure importante. Plusieurs états australiens maintiennent des moratoires sur la plantation d'OGM et plusieurs provinces et municipalités philippines disposent d'ordonnances interdisant ce type de cultures. La Chine se montre également très prudente face aux cultures vivrières GM, les consommateurs s'y opposant de plus en plus activement.

Les leçons tirées par l'Inde après 15 ans passés à cultiver du coton Bt sont particulièrement dures. Bien que ce coton ait été conçu pour produire une toxine insecticide, les agriculteurs ont été confrontés à des attaques de parasites toujours

plus nombreuses, qu'il s'agisse du ravageur cible, le ver de la capsule du cotonnier (devenu résistant aux pesticides), ou d'autres nuisibles. La quantité de pesticides employée pour la culture de ce coton a doublé entre 2006 et 2013. Cette plante, cultivée sur 12,85 millions d'hectares en 2014-2015 a vu les zones qui lui étaient consacrées se réduire à 10,5 millions d'hectares en 2016, 2017[4]. Pour les agriculteurs, les rendements n'ont pas suivi la hausse des coûts de production — surtout due aux pesticides —, entraînant beaucoup d'entre eux à leur perte, que ce soit financièrement ou autre, et laissant un funeste sillage de suicides chez les producteurs de coton Bt. En 2015, les gouvernements des états indiens ont commencé à vivement inciter les paysans à délaisser le coton GM et ont fait de gros efforts pour promouvoir le *desi*, le coton local. En 2010, l'Inde a adopté un moratoire sur la diffusion commerciale de l'aubergine Bt[5] — elle le centre de diversité de cette plante —, et en 2017, la dissémination commerciale de la moutarde GM a également été suspendue.

Malgré tout cela, le Bangladesh cultive aujourd'hui de l'aubergine Bt et les Philippines devraient bientôt les suivre dans cette entreprise. Le Bangladesh a mené des essais sur le terrain pour le riz doré enrichi en vitamine A, et les Philippines cherchent à en faire de même, attendant l'approbation d'essais en champ. De son côté, l'Indonésie aurait autorisé une canne à sucre résistante à la sécheresse développée au niveau national. Cette dernière n'est cependant pas encore cultivée.



## Biologie synthétique et biosynthèse

Alors qu'une nouvelle vague de biotechnologies émerge, les premiers fruits de la biologie de synthèse destinés au commerce n'ont rien à voir avec des fruits tels qu'on pourrait se les imaginer : ce sont en réalité des ingrédients issus d'une molécule unique et fabriqués dans des cuves remplies de bactéries. Ce qui est sûr, c'est qu'ils présentent d'énormes risques pour les économies locales et l'utilisation durable de la biodiversité à des milliers de kilomètres. Un nombre croissant de firmes et de chercheurs utilisent les outils de la biologie synthétique pour créer des substituts artificiels d'ingrédients qu'ils obtenaient auparavant de produits naturels cultivés en Asie-Pacifique. Pour fabriquer des arômes, des parfums, des huiles et édulcorants à très haute valeur ajoutée, ils utilisent les microbes issus du génie génétique au lieu d'avoir recours à l'importation coûteuse de variétés botaniques ou à des synthèses chimiques plus conventionnelles. Pour créer le composant désiré, les entreprises conçoivent de nouveaux circuits génétiques au sein de micro-organismes tels que des levures ou des algues. Elles altèrent l'ADN de telle sorte que lorsque ces micro-organismes se nourrissent de sucres ou de gaz naturels, ils secrètent le composant que l'on extrayait auparavant des plantes. En résumé, la production de composés dans des cuves industrielles de fermentation réduit énormément le besoin d'accéder à une espèce botanique ou à une substance naturelle pour la fabrication de l'ingrédient si

convoité, ce qui entraîne des répercussions sur l'utilisation durable de la biodiversité.

Les organismes utilisés de nos jours pour produire les substituts de la *syn bio* s'alimentent de sucres et d'autres biomasses. Le fait de passer des ingrédients dérivés de l'agriculture aux productions de la biologie synthétique exigera des stocks gigantesques de matières premières, que ce soient des matières végétales issues d'immenses étendues de monocultures, du méthane bon marché obtenu par fracturation hydraulique ou encore du charbon obtenu par extraction minière. Les impacts sur la terre, les écosystèmes et la biodiversité seront terribles.

La production de ces ingrédients de la biologie synthétique comporte également des risques économiques et sociaux qui pourraient gravement nuire aux pays d'Asie-Pacifique puisqu'elle remplacerait les moyens de subsistance qui reposent sur des marchandises à haute valeur ajoutée, réduirait la demande de produits d'origine naturelle exportés et délocaliserait la production de ces ingrédients naturels provenant des économies tributaires de l'agriculture vers les pays industrialisés.

Il existe déjà des dizaines de composants issus de la biologie synthétique dans les produits commercialisés (ou sur le point de l'être), notamment des versions d'arômes, de parfums, de carburants, de produits pharmaceutiques, de textiles, d'édulcorants, de produits chimiques industriels, de cosmétiques et d'ingrédients alimentaires qui sentent, ont goût et se comportent comme des éléments naturels. Une base de données d'ingrédients en voie d'élaboration — ou déjà présents sur le marché — a répertorié plus de 350 projets destinés à produire des composants engendrés par la biologie de synthèse et que l'on trouve déjà, pour la plupart, dans les aliments, les cosmétiques et les compléments alimentaires[6]. Pour mieux comprendre le contexte de cette industrie, voir « *La biologie synthétique et la biosynthèse assistée par intelligence artificielle (IA) — quelles conséquences pour la biodiversité et les moyens de subsistance des agriculteurs ?* ».



## L'Asie-Pacifique : une mine de produits naturels

Certains produits cultivés en Asie du Sud-Est sont convoités par la biologie synthétique qui développe des substituts de ces produits ou les commercialise déjà dans certains cas. Il s'agit entre autres

- de la noix de coco
- de l'huile de patchouli
- du karité, du beurre de cacao et des équivalents de ce beurre
- du vétiver
- du bois d'agar
- du santal
- de la vanille
- de l'armoise
- du ginseng
- de la stévia
- de la soie

	
<p><b>AFGHANISTAN</b> safran</p>	<p><b>BENGLADESH</b> huile de bois d'agar, karité/ beurre de cacao/équivalents du beurre de cacao</p>
	
<p><b>INDONÉSIE</b> huile de patchouli, bois de santal, vanille, vétiver</p>	<p><b>MALAISIE</b> huile de bois d'agar, huile de patchouli, karité/beurre de cacao/équivalents du beurre de cacao</p>
	
<p><b>INDE</b> safran, artémisinine, huile de patchouli, soie</p>	<p><b>CORÉE DU SUD</b> ginseng</p>
	
<p><b>IRAN</b> safran</p>	<p><b>CHINE</b> artémisinine, ginseng, soie, huile de patchouli</p>
	
<p><b>PHILIPPINES</b> huile de patchouli, vétiver</p>	<p><b>VIETNAM</b> artémisinine</p>



## Le safran

Connu pour son parfum subtil et ses teintes lumineuses rouges et orangées, le safran est l'épice la plus chère au monde (au poids). Le mot safran désigne l'étamine (la partie de la plante où germent les grains de pollen) de la fleur *Crocus sativus*. On l'utilise dans l'élaboration d'une grande variété de plats, de produits de boulangerie et de liqueurs. Sa culture requiert énormément de main d'œuvre : en moyenne 200 personnes par jour et par hectare, dont un haut pourcentage de femmes (80 %), et sa production exige plus de 150 000 agriculteurs en Iran, 16 000 au Cachemire et 6 000 en Afghanistan. Un safran de bonne qualité se vend entre 2 000 et 10 000 dollars le kilo, voire plus. Les ventes mondiales à l'année sont estimées à 660 millions de dollars.

Evolva, une entreprise suisse de biologie synthétique a réussi à recréer une levure issue de la bioingénierie qui produit les principaux composants chimiques du safran, ceux qui lui donnent sa couleur et sa saveur. L'entreprise est aujourd'hui capable de fabriquer ses produits en fermentant la levure modifiée, contournant ainsi le besoin de cultiver la fleur naturelle. La commercialisation de ce safran par Evolva est imminente ; la société affirme que sa version de safran ne remplacera pas tant les marchés existant actuellement que les nouvelles utilisations de ce produit comme arôme, puisqu'il sera abordable pour des encas transformés et autres produits peu coûteux. Sans parler des extraits de safran réservés à des usages médicaux. Mais si le safran d'Evolva est vendu comme « naturel » parce que dérivé de la

fermentation, il entrera alors en concurrence directe avec les marchés du safran que nous connaissons actuellement, à un prix bien moins élevé, menaçant potentiellement les moyens de subsistance de milliers de paysans.

## L'huile de patchouli

Le patchouli, ou *Pogostemon cablin*, est une plante herbacée vivace de la famille des menthes qui pousse très bien à l'état sauvage sous les climats tropicaux chauds. L'huile qui en est extraite, très prisée par certains parfums est aussi abondamment employée pour la fabrication de lessives, de désodorisants, de bougies, de savons, de lingettes pour bébés et autres produits ménagers parfumés. On s'en sert aussi beaucoup pour fabriquer des produits pharmaceutiques et cosmétiques, pour ses vertus antimicrobiennes. L'Indonésie en est le plus gros producteur mondial. Elle détient plus de 80 % du marché. La production annuelle est aujourd'hui évaluée à 1 000 ou 1 200 tonnes avec une demande à peu près équivalente. Les pays fournisseurs qui suivent l'Indonésie sont la Chine, l'Inde et la Malaisie. L'huile de patchouli se vend entre 40 et 70 dollars le kilo. Une famille d'agriculteurs cultivant du patchouli possède en général entre 0,25 hectare et un hectare de terres et produit entre 25 et 100 kilos d'huile par an. Environ 12 000 familles travaillent à cultiver cette plante (50 000 personnes en vivant), 2 000 personnes supplémentaires sont employées pour la distillation et 300 pour le commerce des récoltes.



Le composant-clé de l'huile est le patchoulol, que l'entreprise de biotechnologie Amyris, basée en Californie, fabrique aujourd'hui grâce à une levure conçue synthétiquement, en partenariat avec Firmenich, un fournisseur suisse de parfums et d'arômes. Leur patchouli est une marque déposée — Clearwood™ — déjà intégrée dans des parfums reconnus. Isobionics, une entreprise hollandaise

de biologie synthétique, projette également de commercialiser une version de synthèse d'huile de patchouli. La production d'huile de patchouli naturelle, tout comme celle d'autres huiles essentielles, est dirigée par de petits agriculteurs ; elle représente ainsi une contribution importante aux revenus et moyens de subsistance de ces personnes, qui se verront immanquablement lésées par le Clearwood™ et les futurs produits d'Isobionics. Amyris pourra en effet, grâce à son Clearwood™, remplacer la culture et le processus d'extraction jugés trop longs par un seul processus de fabrication qui lui permet d'obtenir de l'huile de patchouli en deux semaines ! Même si le produit fini ne sera pas doté des mêmes vertus que l'huile naturelle, les facilités de production compromettent énormément les efforts des agriculteurs et affecte également la possibilité, pour les consommateurs, d'avoir accès dans le futur à une vraie huile de patchouli.



## L'armoise et l'artémisinine

L'artémisinine, le principe actif de l'*Artemisia annua*, un buisson chinois — également surnommée absinthe douce — est le principal ingrédient d'une série de médicaments très efficaces contre le paludisme, autorisés par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). L'armoise est aussi traditionnellement beaucoup utilisée dans des infusions pour contrer cette maladie. Les feuilles de cette plante réduites en poudre semblent également être très efficaces. L'armoise est avant tout cultivée pour être vendue aux entreprises pharmaceutiques. Jusqu'à très récemment (2013), l'artémisinine naturelle était fournie par 100 000 petits paysans environ, en Asie et en Afrique, ainsi que par des cueilleurs d'armoise sauvage en Chine. Ce pays

produit actuellement 80 % de l'artémisinine dérivée de l'*Artemisia annua*, suivi par le Vietnam qui concentre environ 10 % de la production. Le reste provient de Madagascar, du Kenya, de la Tanzanie et de l'Ouganda. Enfin, cette plante est cultivée en Inde dans des proportions moindres. La superficie moyenne de terres réservées à ces cultures avoisine les 0,2 ha en Chine et en Afrique.

En avril 2013, une artémisinine « semi-synthétique » (SSA en anglais) issue de la biologie synthétique a fait son apparition sur le marché. Cette version de synthèse a été créée par Amyris Biotechnologies en collaboration avec Sanofi Aventis, grâce à 64 millions de dollars provenant de la Fondation Bill et Melinda Gates. Dans un premier temps, l'artémisinine semi-synthétique était censée remplacer un tiers, voire la moitié de l'offre mondiale, bien que des chercheurs aient exprimé leur désir de s'emparer de la totalité du marché. Sanofi n'a cependant pu vendre sa première production de SSA à aucun fabricant : ses prix dépassaient en effet ceux du marché ; en 2015, sa production d'artémisinine semi-synthétique était même inexistante. L'arrivée de la version issue de la biologie de synthèse a fait chuter en 2014 les prix de l'artémisinine botanique (qui n'avaient jamais été aussi bas en dix ans), et les plantations qui ont suivi auraient diminué de deux tiers. Les prix ont tellement diminué que même l'artémisinine semi-synthétique était excessivement chère ; c'est d'ailleurs pour cette raison que Sanofi ne trouvait pas d'acheteur. Elle a ainsi contribué à la volatilité du prix des carburants et sapé une source de revenus non-négligeable pour des dizaines de milliers d'agriculteurs. L'avenir de la demande et de ce composé antipaludéen indispensable reste aujourd'hui très incertain, tout comme ses répercussions sur les moyens de subsistance des paysans qui la cultivent.

## Le bois d'agar

L'huile de bois d'agar (également connu comme Gaharu ou bois de oud) est une résine odorante que l'on trouve



au cœur d'arbres du genre *Aquilaria*, originaires d'Asie du Sud-Est. Cette résine très prisée mais menacée ne se forme — à l'intérieur du tronc — que lorsque l'arbre est malade ou endommagé. On utilise le bois d'agar pour fabriquer des bâtons d'encens et des huiles essentielles destinées à des parfums. Les arbres poussent généralement dans le sud et le sud-est de l'Asie ; la Malaisie est le plus gros producteur de bois d'agar de très bonne qualité. On ne sait pas combien de personnes vivent de la récolte du bois d'agar et des produits que l'on en tire car la plus grande partie de ce commerce est illicite. Selon l'industrie, la valeur du commerce global de bois d'agar s'élève de 6 à 12 milliards de dollars. L'huile essentielle d'excellente qualité tirée de cet arbre a même été surnommée « l'or liquide » — 15 000 dollars le litre au prix de gros, le triple au détail. Le prix de l'huile de bois d'agar varie de 100 dollars le kilo (pour une huile de qualité moindre) à 100 000 dollars le kilo pour les huiles d'excellente qualité, très pures. En 2013 le marché global de copeaux et de poudre de bois d'agar atteignait les 4,7 mille tonnes — le prix des copeaux oscillait alors entre 20 et 6 000 dollars le kilo et le bois d'excellente qualité se vendait à plus de 30 000 dollars le kilo.



Malheureusement la collecte sauvage de cette huile onéreuse menace l'espèce et le commerce de bois d'agar sauvage est donc maintenant devenu illégal. Aussi, des plantations d'*Aquilaria* ont été créées pour cultiver cet arbre de façon plus durable. Evolva et Efflorus, deux entreprises de biotechnologie, ont fait savoir qu'elles essayaient de produire les principaux composants du bois d'agar en ayant recours à la biologie de synthèse. Jusqu'à présent, aucune d'entre elles n'a déterminé de date de mise en vente, de méthodologie ni proposé

de nom pour le produit. Alors qu'il est indéniable que la biosynthèse des composés aromatiques du bois d'agar offre une approche plus durable que la coupe illégale d'arbres menacés, reste à savoir si Efflorus ou Evolva sont capables d'élaborer un produit commercialement viable, et dans quelle mesure cela affectera le marché mondial. Il n'existe pas encore de discussion marquante sur l'impact que pourrait avoir, pour les personnes travaillant ce bois traditionnellement ou pour celles travaillant dans les plantations, le passage de la récolte de bois sauvage et de la production en plantation à la production synthétique.

## Le ginseng

Les racines du ginseng (*Panax ginseng*) sont utilisées depuis plus de 4 500 ans en médecine orientale pour combattre le



stress, les maladies et l'épuisement. Elles sont particulièrement prisées en Corée du Sud. Depuis le XIX<sup>ème</sup> siècle, une variété nord-américaine (*Panax quinquefolius*) est aussi beaucoup cultivée et utilisée ; on la consomme également sous forme d'aliment. Les ginsénosides sont des composés actifs que l'on ne trouve que dans le ginseng, dotés d'effets liés à la santé. On a identifié approximativement 40 composants de ginsénosides et environ 72 600 tonnes de ginseng botanique sont actuellement produites par an dans le monde entier ; la Chine, la Corée du sud, le Canada et les Etats-Unis regroupent plus de 99 % des récoltes. La Chine en est le plus gros producteur avec 40 596 tonnes annuelles, suivie par la Corée du Sud (24 929 tonnes), le Canada (5 884 tonnes) et les Etats-Unis (956 tonnes). Le ginseng est culturellement très important en Corée du Sud, qui en est le plus gros consommateur au monde. Le marché du ginseng (qui inclut les racines de la plante et les produits dérivés) est estimé à 2,1 milliards de dollars — avec 1,1 milliard de dollars rien que pour le marché coréen. La culture laborieuse de ses racines (qui mettent de 4 à 6 ans à pousser) requiert de nombreuses compétences.

En Belgique et en Chine, des projets de recherche très actifs ont réussi à élaborer, en utilisant les techniques de la biologie synthétique, quelques-uns des 40 ginsénosides dans des levures et dans d'autres plantes. De plus, Evolva a confirmé qu'elle souhaitait commercialiser le ginseng. Il n'existe actuellement aucune évidence concrète qu'une version de ginseng issue de la biologie de synthèse soit sur le point de faire son apparition sur le marché. Cependant, puisque plusieurs équipes travaillent à concevoir un tel produit, il est fort probable que ce type de ginseng soit mis en vente, et affecte le marché de cette plante emblématique, ainsi que les agriculteurs qui s'y consacrent.

## L'édition génomique

Il existe une poignée de techniques de génétique moléculaire qui permettent aux ingénieurs de la biologie synthétique d'altérer rapidement l'ADN des plantes et des animaux. Ces techniques sont aujourd'hui utilisées à des fins agricoles et de conservation. La plus célèbre d'entre elles est la technique CRISPR (Courtes répétitions palindromiques groupées et régulièrement espacées), utilisée pour créer entre autres des bovins sans cornes, des champignons qui ne noircissent pas et de nouvelles variétés de maïs « cireux » — un maïs hybride. Des techniques similaires ont également été utilisées pour concevoir un colza tolérant aux herbicides, ou encore des insectes et des souris génétiquement modifiés. Les plantes et cultures modifiées impliquent l'altération de la constitution génétique de ces organismes exactement comme le ferait tout autre technique de génie génétique, même si certaines entreprises de biotechnologie tentent de nous faire croire que l'on ne devrait pas appréhender ou traiter ces organismes comme des OGM, vu qu'ils ne subissent que de « légers » changements. Cependant, même d'infimes changements dans la séquence du gène peuvent avoir d'importantes répercussions sur l'organisme et sur l'écosystème. Il semblerait aussi que l'édition du génome provoque des mutations involontaires appelées « effets hors-cible » ou « *off-target effects* » en anglais, c'est-à-dire que des modifications inattendues se produisent dans une toute autre partie du code génétique que celle qui

était visée au départ. Ce changement pourrait influencer ou non sur le comportement ou le développement de l'organisme altéré.

Certains pays ont débattu pour savoir si les organismes produits par édition génomique étaient ou non des OGM. La Nouvelle-Zélande a tranché : sa Loi sur les substances dangereuses et les nouveaux organismes (HSNO) de 1996 régit tous les types de biotechnologies modernes. De plus, tout organisme qui n'existait pas sur le territoire au 29 juillet 1998 est considéré comme nouveau et également régi par cette loi, comme toutes les techniques d'édition génomique et nouvelles techniques de la biologie synthétique ; les produits issus de ces techniques suivent les mêmes réglementations que celles appliquées aux OGM. Ceci a été confirmé par la Cour Suprême de Nouvelle-Zélande en 2014[7] puis réaffirmé, suite à un examen gouvernemental des réglementations en 2016.

En vertu de la loi néo-zélandaise, l'évaluation des risques et l'approbation préalable des autorités chargées de la réglementation sont requises pour tout essai en champ et toute dissémination d'organismes génétiquement modifiés ou de produits de la biologie de synthèse créés dans des laboratoires, en milieu confiné. Les essais en champ doivent être maîtrisés afin que le matériel génétique héritable ne quitte pas le site durant les essais et soit retiré après. Toutes les demandes doivent être notifiées publiquement, sujettes à consultation publique, ouvertes aux requêtes des parties prenantes et impliquer une audience publique. Lors des évaluations, l'organisme de réglementation doit prendre en compte les répercussions économiques (coûts et bénéfices) de l'utilisation proposée, ainsi que les aspects scientifiques, éthiques et sociaux y ayant trait. La loi tente d'encourager la prise en compte d'alternatives : elle demande que des comparaisons soient faites pour décider de la meilleure option possible. La portée de cette loi, ainsi que ses caractéristiques sont donc des éléments très importants pour une bonne gouvernance des organismes génétiquement modifiés, de l'édition génomique et de la biologie synthétique[8].

## Les effets hors-cible

L'édition génomique utilisant la technique CRISPR n'est pas aussi bien comprise ni aussi précise qu'on veut bien nous le faire croire. Les processus « d'édition » semblent entraîner bien souvent des changements inattendus dans d'autres parties du génome des organismes modifiés : ce sont les fameux effets hors-cible. La fréquence de ces effets remet en question l'hypothèse selon laquelle les nouvelles techniques d'édition génomique telles que CRISPR sont précises et faciles à prévoir. En effet, de telles modifications inattendues dans le génome peuvent mener à des effets indésirables surprenants quant au fonctionnement de l'organisme manipulé de la sorte. Dans le cas des aliments d'origine végétale par exemple, « les effets hors-cible peuvent entraîner l'apparition de toxines ou d'allergènes imprévus, voire encore altérer ou compromettre la valeur nutritionnelle de ces aliments »[9].



## L'agriculture intelligente face au climat : l'ingénierie de la photosynthèse du riz

L'une des applications les plus connues de la biologie synthétique consiste à modifier les mécanismes qui sous-tendent la photosynthèse, le processus de base par lequel les plantes transforment la lumière du soleil et le dioxyde de carbone de l'atmosphère en oxygène et en matière organique. Les ingénieurs de la biologie synthétique conçoivent de nouvelles enzymes qui pourraient transformer plus efficacement l'énergie solaire en biomasse ; ils manipulent génétiquement les feuilles

des végétaux pour recueillir plus de lumière. Cette méthode est non seulement vendue comme une stratégie permettant d'augmenter les rendements, mais aussi comme une façon de capter plus de gaz à effet de serre : on se permet donc de qualifier ces entreprises de solutions « intelligentes » face au climat. Aux Philippines, l'Institut international de recherches sur le riz (IRRI) fait partie d'un consortium financé par la Fondation Bill et Melinda Gates qui tente de modifier les propriétés photosynthétiques du riz pour convertir les plantes de type C3 en type C4. Le riz est classé comme plante en C3 de par la façon qu'il a de convertir le dioxyde de carbone en hydrates de carbone (le terme C3 fait référence au composé à trois atomes de carbone produit par la photosynthèse). La transformation du riz en C4 produira une plante qui fixera une plus grande quantité de carbone atmosphérique, qui utilisera plus efficacement l'eau et l'azote et qui s'adaptera à des climats plus chauds et plus secs. Un autre consortium réunissant des chercheurs issus du public et du privé a entrepris un travail similaire : le *C4 Rice Project*, financé cette fois-ci par l'Union européenne. Ce consortium comprend Bayer CropScience et Biochemtex[10].

Altérer fondamentalement le métabolisme de base d'une culture vivrière aussi importante que le riz n'est pas une mince affaire et exigerait des évaluations approfondies quant à la sécurité alimentaire et à celle de l'environnement. Jusqu'à présent, ces modifications semblent susceptibles d'accroître la production rizicole industrielle à haut rendement. Cela risque aussi de détourner l'attention d'autres méthodes de l'agroécologie qui souhaitent accroître la production en réduisant la quantité de produits chimiques utilisée et en confiant la sélection aux paysans et non pas aux entreprises high-tech. La consommation de riz en Asie est en moyenne deux fois et demie plus élevée que sur n'importe quelle autre partie de la planète : l'Asie du Sud-Est concentre plus d'un cinquième (22 %) de la consommation mondiale de riz et plus de la moitié (53 %) des exportations nettes (avec en particulier l'Indonésie, le Vietnam, la Thaïlande, les Philippines et le Cambodge). Toute altération aussi radicale du

riz aura évidemment d'énormes répercussions sur la biodiversité et les systèmes alimentaires de l'Asie du Sud-Est.

## Le forçage génétique

Le forçage génétique est l'une des applications les plus récentes de la biologie de synthèse et de l'édition génomique. Il consiste à éditer génétiquement un organisme en utilisant une série d'instructions soigneusement conçues qui le forcent à transmettre la modification génétique à chacune des générations suivantes, outrepassant ainsi les processus normaux de sélection naturelle. Ainsi, un seul trait génétique (déterminant par exemple qu'une souris sera mâle) se propage sur toute une population ou sur une espèce entière, ce qui peut éventuellement entraîner la transformation ou l'extinction de cette espèce dans son ensemble (toutes les souris pourraient naître mâles ou stériles). Certaines ONG qui se consacrent à la conservation de la nature ont préconisé le recours au forçage génétique pour éliminer les espèces envahissantes telles que les souris et les serpents sur des îles ou encore pour éradiquer des moustiques susceptibles d'être porteurs de maladies à transmission vectorielle. Le forçage génétique agit en changeant ou en éliminant la structure génétique d'une espèce par l'entremise d'une succession de modifications génétiques inarrêtable (de génération en génération), et constitue donc une intervention très lourde en termes d'évolution et pour les écosystèmes. Les réactions génétiques en chaîne enclenchées par le forçage génétique ne peuvent actuellement pas être interrompues une fois qu'elles sont mises en route.

La biologie synthétique permet aux chercheurs et aux entreprises de créer des organismes qui n'ont rien à voir avec des organismes naturels. Dans le cas des plantes et des animaux génétiquement modifiés, et encore plus avec le forçage génétique, ces organismes sont destinés à être disséminés dans l'environnement. On ne connaît pas encore les conséquences potentielles sur la biodiversité de ces nouveaux organismes nés de la biologie de synthèse — qui peuvent sortir des installations confinées ou être intentionnellement relâchés. (Pour

plus d'informations, voir le document « Le forçage génétique : le génie génétique perd la tête »).

Plusieurs organisations travaillent à prévenir la dissémination d'organismes manipulés en utilisant des techniques de forçage génétique en Asie-Pacifique. Des organisations de la société civile comme le *Sustainability Council of New Zealand* (Conseil de développement durable de Nouvelle-Zélande) et les Amis de la Terre Australie (*Friends of the Earth Australia*) sont particulièrement actifs puisqu'il est question que les premiers essais en champ soient réalisés dans les pays de la région, à des fins de conservation.

## Les promoteurs du forçage génétique veulent s'en prendre aux îles

Plusieurs équipes travaillent actuellement sur des systèmes de forçage génétique visant à modifier certaines populations sauvages d'espèces envahissantes, ce qui aura pour effet d'éradiquer ces espèces. Ces équipes présentent leur travail comme un outil de conservation. Une organisation internationale, Island Conservation, financée en grande partie par l'armée des Etats-Unis, travaille en collaboration avec des scientifiques américains et australiens sur un projet de « *daughterless mouse* » (souris sans filles) : il s'agit d'introduire des séquences CRISPR dans des populations de souris afin que toute leur progéniture soit masculine, ce qui pourrait anéantir la population de rongeurs. Island Conservation fait valoir que la mise en application de ces techniques sur des îles pourrait en théorie aider à protéger les oiseaux dont les œufs sont détruits par les souris[11]. A Hawaï, on a proposé de relâcher des moustiques modifiés pour éradiquer les diptères porteurs d'un type de paludisme aviaire menaçant certains passereaux rares, les *honeycreeper*s[12]. On a également proposé de relâcher des serpents génétiquement modifiés sur l'île de Guam, pour neutraliser un autre serpent envahissant, le *boiga irregulari*. En Australie, des chercheurs travaillent depuis un certain temps à manipuler des carpes par le biais de techniques de forçage génétique afin d'éliminer une espèce envahissante (la carpe commune)[13]. Ils discutent par ailleurs de manipuler génétiquement des chats

haret. Il est fort probable que ces chercheurs présentent certaines de leurs applications aux gouvernements de l'Asie-Pacifique comme des remèdes miracles — en particulier dans le cas des pays dotés de territoires insulaires — comme l'Indonésie, les Philippines et la Malaisie. Bien que chacune de ces applications vise un endroit bien précis, on court le risque de voir les insectes, les poissons et les animaux génétiquement modifiés se déplacer involontairement de l'endroit où ils ont été relâchés (transportés par exemple par des prédateurs, les intempéries, des courants marins ou encore par des êtres humains). Les organismes ayant subi un forçage génétique pourraient alors s'étendre globalement et causer l'extinction d'autres espèces. Ils pourraient également nuire à la pollinisation (dans le cas des insectes par exemple), aux réseaux trophiques, voire même à la sécurité alimentaire des êtres humains. La carpe, par exemple, est une source importante de nourriture et de moyens de subsistance en Asie. Si une carpe génétiquement modifiée atteignait cette région et les espèces locales de carpes communes, cela pourrait faire des ravages chez ces poissons et compromettre sérieusement la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance des populations locales.



### Les moustiques d'Oxitec

Certaines techniques de génie génétique de la biologie de synthèse ont conçu des moustiques dotés d'un gène létal dominant. Ces insectes ont par la suite été relâchés en grandes quantités (des millions dans certains cas) au Brésil, au Panama, dans les Îles Caïman et en Malaisie lors d'essais

en champ. On envisage d'en relâcher en Floride, dans les îles Keys. Ces moustiques artificiels ont été conçus par l'entreprise Oxitec, qui a également breveté la technologie associée à ces modifications génétiques. La firme, basée au Royaume Uni, a été rachetée par Intrexon Corporation, qui se targue d'être un « leader de la biologie synthétique ». Le génie génétique vise cette fois l'*Aedes aegypti*, vecteur de la fièvre jaune, de la dengue et d'autres maladies. La manipulation de ces moustiques implique une modification génétique qui, en l'absence de tétracycline (un antibiotique), provoque la mort de ces insectes au stade larvaire. La dissémination des diptères (mâles principalement) porteurs de ce gène létal est censée entraîner la suppression de la population de moustiques, dans le but de réduire la présence de la dengue et d'autres maladies transmises par l'*Aedes aegypti*.

La dissémination de ce type de moustiques dans l'environnement soulève cependant de nombreuses préoccupations scientifiques, sociales, éthiques et en termes de réglementations. Il s'est par exemple avéré que leur dissémination dans les Îles Caïman n'était que relativement efficace en saison sèche, lorsque les populations de moustiques sont peu nombreuses, et si on les associait à des pulvérisations d'insecticides[14]. Pendant ce temps, d'énormes quantités de femelles susceptibles de transmettre la maladie ont été relâchées, en dépit des affirmations contraires[15]. Il n'existe donc aucune preuve que les disséminations de moustiques réduisent le risque de transmission de la dengue ou d'autres maladies telles que le zika ou le chikungunya. La situation est en outre aggravée par le fait que les cadres nationaux et internationaux de réglementation et d'évaluation des risques qui régissent ces insectes sont encore faibles[16]. Aux Etats-Unis par exemple, on a assisté à une discussion pour savoir quel organisme devait se charger de réglementer la proposition de dissémination des moustiques, étant donné qu'il s'agit d'un domaine tout à fait nouveau avec lequel le monde des réglementations n'est absolument pas familiarisé. La première dissémination dans les Îles Caïman a été menée en l'absence totale de lois sur la biosécurité[17] : les questions spécifiques ayant

trait à la biosécurité n'ont pas dûment été prises en compte ni évaluées comme il le fallait. L'information publique, la consultation et la participation de la population ont également cruellement fait défaut. Dans le cas des Îles Caïman, on a affirmé que le public avait reçu les informations adéquates avant la dissémination des moustiques, mais la vidéo de sensibilisation ne mentionne pas une seule fois le fait que ces insectes soient le fruit de manipulations génétiques.



## Les bananes CRISPR

L'Asie du Sud-Est est un important producteur mondial de bananes. Les Philippines, l'Indonésie, le Vietnam, la Thaïlande et le Laos sont les pays qui dominent, dans la région, la production de ce fruit populaire. Cependant, une nouvelle souche du TR4, un champignon virulent, également connu sous le nom de maladie de Panama, a sévèrement affecté la production de la célèbre variété de bananes Cavendish, anéantissant des dizaines de milliers d'hectares de plantations en Chine, en Indonésie, en Malaisie et aux Philippines. En réponse, les ingénieurs de la biologie synthétique tentent d'utiliser la technique d'édition génomique CRISPR pour développer des variétés résistantes au TR4. Des scientifiques australiens travaillant sur ce fruit ont de nouveau manipulé les variétés Cavendish et Gros Michel pour les rendre résistantes à différentes souches de TR4[18], tandis que des scientifiques taiwanais ont avec succès commencé à concevoir des bananes avec les techniques CRISPR pour produire des variétés résistantes au TR4[19]. Malheureusement, ces techniques d'édition génomique sont encore très mal comprises

et semblent entraîner des changements inattendus partout ailleurs dans le génome de l'organisme manipulé (c'est ce que l'on appelle les fameux effets « hors-cible »). Il existe d'autres façons de traiter le problème du TR4 qui consistent simplement à diversifier les plantations (au lieu de s'en tenir à des monocultures de Cavendish)[20]. De plus, les consommateurs ne semblent pas du tout prêts à voir leurs bananes manipulées de la sorte. Comme l'a déclaré un porte-parole de l'entreprise Chiquita au *New Yorker*, « Sur nos principaux marchés, en Amérique et en Europe, une banane génétiquement modifiée ne serait pas commercialisable. Ce qui nous importe, au bout du compte, c'est de continuer à vendre des bananes »[21].

## Information de séquençage numérique sur les ressources génétiques

On peut aujourd'hui synthétiser des segments de gènes, des gènes voire même des organismes entiers de grande valeur économique (comme par exemple les virus vaccinaux) à partir de séquences d'information que l'on peut transférer numériquement. Les organismes et les variantes génétiques peuvent ainsi efficacement traverser les frontières sans que l'on ait à transférer physiquement les matériels biologiques d'un endroit à un autre. Il n'est pas nécessaire de synthétiser un génome entier pour que la séquence numérique d'information génère des bénéfices. Des gènes individuels synthétisés à partir de séquences d'informations puis insérés dans des organismes vivants peuvent avoir énormément de valeur, en particulier lorsqu'ils sont destinés à des usages industriels, agricoles et médicaux. Par exemple, le(s) gène(s) encodant une coûteuse enzyme industrielle ou un composant thérapeutique d'une plante médicinale peut être synthétisé à partir de séquences numériques d'information puis inséré dans des microbes pour la production dans des cuves de fermentation (Voir ci-dessus la section Biologie synthétique et biosynthèse). Contrairement à ce qui avait lieu auparavant, de tels usages de séquences numériques d'information sont aujourd'hui possibles sans qu'il faille avoir accès au microbe (ou à la plante, à l'animal, etc.) en soi

et sans obtenir de consentement préalable, libre et éclairé, ni d'Accord type de transfert de matériel (ATTM) de la part des personnes ou des peuples qui sont à l'origine de ces ressources génétiques ou qui détiennent ces connaissances.

Étant donné que de nombreuses lois, politiques et accords relatifs à l'accès aux ressources génétiques et au partage juste et équitable des avantages liés à leur utilisation se basent sur le transfert physique de matériels, elles ne peuvent, dans leur forme actuelle, être appliquées à l'information de séquençage numérique sur les ressources génétiques. Ce qui pose de gros problèmes si l'on veut assurer une utilisation juste et équitable des ressources génétiques. Ces problèmes sont amenés à s'aggraver à mesure que le coût du séquençage ira en diminuant et que les outils de stockage et de manipulation de l'information de séquençage numérique sur les ressources génétiques augmenteront.

Aux Philippines, le cas de plusieurs demandes récentes très controversées de brevets sur des séquences de gènes ou sur des « traits » génétiques de la part de l'IRRI (Institut international de recherche sur le riz) illustre très bien les problèmes potentiels que posent l'information de séquençage numérique en termes de partage des avantages. Rendues publiques pour la première fois au mois de mars 2017[22], les demandes de l'IRRI incluent la séquence d'un gène provenant d'une variété paysanne indonésienne. Cette demande — ainsi que plusieurs autres — touche les variétés paysannes détenues par l'IRRI dans le cadre du Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture (TIRPAA). Elle réveille également la hantise que l'IRRI et peut-être bientôt d'autres centres du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (GCRAI ou CGIAR, de l'anglais *Consultative Group on International Agricultural Research*) pillent leurs propres banques de gènes pour obtenir des séquences fort juteuses.

Alors que l'IRRI a tenté de faire face à la controverse en modifiant sa politique en matière de propriété intellectuelle et en déclarant que toutes

les licences concédées à des sociétés semencières pour l'obtention de brevets incluront une obligation pour l'obteneur de participer au Fonds de partage des avantages du TIRPAA, les opposants soutiennent que cela n'est absolument pas suffisant pour résoudre le problème. Les agriculteurs en particulier remettent en question le droit de l'IRRI de déposer des demandes de brevet — après tout, les plantes qui sont à l'origine des séquences génétiques proviennent de leurs champs. D'autre part, l'IRRI envisage de percevoir des royalties sur ces brevets, royalties bien plus alléchantes que ce qui est versé au système multilatéral d'accès et de partage des avantages prévu par le Traité ; il tirera donc également profit de ses brevets et ces derniers pourraient être bien plus conséquents que ce qui revient au système multilatéral. Certaines des revendications couvrent des séquences de gènes qui augmentent le rendement, et les gains financiers potentiels tirés des brevets pourraient être considérables. On craint que l'IRRI ne se transforme en un puissant central à émettre des brevets, et que cela ne nuise à sa mission de servir les paysans et les pays en voie de développement. L'IRRI se transformerait alors en une institution désireuse de générer des revenus à partir des licences auprès des multinationales semencières au lieu de se concentrer sur l'aide à la recherche publique. De fortes rumeurs circulent également selon lesquelles d'autres centres du GCRAI chercheraient à s'aligner sur la démarche de l'IRRI ; ce problème est donc destiné à s'aggraver.

L'accès à l'information de séquençage numérique sur les ressources génétiques satisfait des objectifs de plus en plus nombreux, précédemment servis par l'accès aux matériels physiques, y compris leur utilisation pour la création de nouveaux produits commerciaux qui pourront être brevetés ou placés sous d'autres modalités de propriété intellectuelle. Cette façon d'utiliser l'information de séquençage numérique sur les ressources génétiques (amenée à se développer dans le futur) fait que les règles d'accès et de partage juste et équitable des avantages appliquées aux matériels physiques devraient également l'être aux informations de séquences. La loi Malaisienne de 2017 sur l'Accès

aux ressources biologiques et sur le partage des avantages est un bon exemple pour la région : sa définition des « ressources biologiques » auxquelles s'appliquent les règles d'accès et de partage des bénéfices inclut :

- a. les ressources génétiques, organismes, microorganismes, dérivés et les parties des ressources génétiques, organismes, microorganismes ou dérivés ;
- b. les populations ou tout autre composant biotique d'un écosystème ayant une utilisation ou une valeur réelle ou potentielle pour l'humanité ;
- c. toute information relative aux paragraphes (a) et (b).

En outre, la définition du terme « dérivé » de la loi inclut les composés biochimiques naturels dérivés, développés ou synthétisés à partir d'une ressource biologique, ou résultant de l'expression génétique ou du métabolisme de la ressource biologique ou génétique, ou encore d'une partie, d'un tissu ou d'un extrait contenant des unités fonctionnelles d'hérédité ou autres, et des informations relatives à des dérivés.



## Conclusions et étapes suivantes

Les effets néfastes potentiels de la biologie synthétique sur la région Asie-Pacifique pourraient avoir une portée considérable avec des risques pour l'environnement, la santé humaine et animale, ainsi que les moyens de subsistance des peuples

autochtones et paysans. Dans le cas du forçage génétique en particulier, toute démarche devrait être traitée avec d'extrêmes précautions, et aucune dissémination dans la nature ne devrait avoir lieu, et encore moins dans les écosystèmes de la région, vu le caractère irréversible de ces technologies. L'environnement réglementaire, même dans le cadre d'un usage en milieu confiné, doit être renforcé afin que les organismes, composants et produits issus de la biologie de synthèse soient soumis à des réglementations très strictes, et que ces technologies soient évaluées comme il se doit pour répondre aux risques et aux considérations socio-économiques. Des mesures d'identification, de détection, de gestion des risques et de surveillance sont également requises afin de permettre un suivi rapproché.

## Pour de plus amples informations,

*Une base de données répertoriant les ingrédients fabriqués à partir des techniques de synthèse de la biologie synthétique : <http://database.synbiowatch.org>*

*Une carte virtuelle illustrant les produits naturels qui poussent dans la région, menacés par les succédanés de la biologie synthétique : <http://www.synbiowatch.org/commodities/natural-products-map/>*

*Le rapport du Groupe ETC, « Synthetic biology, biodiversity & farmers. Case studies exploring the impact of synthetic biology on natural products, livelihoods and sustainable use of biodiversity » :*

*<http://www.etcgroup.org/content/synthetic-biology-biodiversity-farmers>*

*Le site web des Amis de la Terre, Australie, projet sur les technologies émergentes, dont la biologie synthétique : <http://emergingtech.foe.org.au/synthetic-biology/>*

*Centre d'information sur la biosécurité du Réseau Tiers-monde (TWN, Third World Network), site web sur les techniques et tendances émergentes : <https://www.biosafety-info.net/subsection.php?ssid=5>*

## Références

- 1 Voir Malaysia Biosafety Clearing House, <http://biosafety.nre.gov.my>
- 2 Loi bhoutanaise sur la Biosécurité (Biosafety Act of Bhutan), 2015. URL: [http://www.bafra.gov.bt/BHUTAN\\_Biosafety\\_Act\\_2015.pdf](http://www.bafra.gov.bt/BHUTAN_Biosafety_Act_2015.pdf)
- 3 Voir <https://www.gmo-free-regions.org/gmo-free-regions/asia/japan.html>
- 4 Ces informations sur l'utilisation des insecticides et l'étendue des surfaces de coton Bt proviennent de données officielles et d'études rassemblées par la Coalition pour une Inde sans OGM (Coalition for a GM-Free India).
- 5 Décision sur la commercialisation de l'aubergine Bt, Ministère de l'Environnement et des Forêts, 9 février 2010.
- 6 Voir <http://database.synbiowatch.org/>
- 7 The Sustainability Council of New Zealand Trust v The Environmental Protection Authority [2014] NZHC 1067 [20 mai 2014]. Disponible sur <https://bch.cbd.int/database/record.shtml?documentid=112070>
- 8 Sustainability Council of New Zealand. 2017. *Submission of Information on Synthetic Biology: Experience from New Zealand*. A consulter sur <https://bch.cbd.int/database/record.shtml?documentid=112070>
- 9 ENSSER, Réseau Européen de Scientifiques pour une responsabilité sociale et environnementale, "ENSSER Statement on New Genetic Modification Techniques: products of new genetic modification techniques should be strictly regulated as GMOs," 27 septembre 2017. URL : <https://ensser.org/topics/increasing-public-information/ngmt-statement/>
- 10 Groupe ETC, *Jouer au plus malin avec la nature? La biologie synthétique et l'agriculture intelligente face au climat*, 26 novembre 2015, Consulté en novembre 2017. URL : <http://www.etcgroup.org/content/outsmarting-nature/report>
- 11 Alison Hawkes, "Re-Coding for Conservation," *Pacific Standard*, 8 juillet 2016, consulté en août 2017. URL: <https://psmag.com/news/re-coding-for-conservation>
- 12 Antonio Regalado, "The Plan to Rescue Hawaii's Birds with Genetic Engineering", *MIT Technology Review*, 11 Mai 2016, consulté au mois d'août 2017. URL : <https://www.technologyreview.com/s/601383/the-plan-to-rescue-hawaiis-birds-with-genetic-engineering/>
- 13 Katie Langlin, "Genetic Engineering to the rescue of Invasive Species," *National Geographic*, 18 juillet 2014, consulté au mois d'août 2017. URL : <https://news.nationalgeographic.com/news/2014/07/140717-gene-drives-invasive-species-insects-disease-science-environment/>
- 14 GeneWatch UK, *Oxitec's genetically modified mosquitoes: Failing in the field?*, 2017. URL: [http://www.genewatch.org/uploads/f03c6d66a9b354535738483c1c3d49e4/Oxitec\\_GWbrief\\_Sep17\\_fin.pdf](http://www.genewatch.org/uploads/f03c6d66a9b354535738483c1c3d49e4/Oxitec_GWbrief_Sep17_fin.pdf)
- 15 *Ibid.*
- 16 R. Guy Reeves, Jai A Denton, Fiammetta Santucci, Jarosław Bryk, Floyd A. Reed, "Scientific Standards and the Regulation of Genetically Modified Insects", *PLoS Neglected Tropical Diseases* 6 (1), 2012. <http://www.plosntds.org/article/info:doi/10.1371/journal.pntd.0001502>
- 17 *Ibid.*
- 18 Erik Stokstad, "GM banana shows promise against deadly fungus strain", *Science*, 17 novembre 2017. Consulté au mois de novembre 2017. URL : <http://www.sciencemag.org/news/2017/11/gm-banana-shows-promise-against-deadly-fungus-strain>
- 19 David Cyranoski, "CRISPR tweak may help gene-edited crops bypass biosafety regulation", *Nature News*, 1<sup>er</sup> octobre 2015. Consulté en novembre 2017. <http://www.nature.com/news/crispr-tweak-may-help-gene-edited-crops-bypass-biosafety-regulation-1.18590>
- 20 Stokstad, 2017.
- 21 Mike Peed, "We Have No Bananas", *The New Yorker* (édition en ligne), 10 janvier 2011, consulté au mois d'août 2017. URL: <https://www.newyorker.com/magazine/2011/01/10/we-have-no-bananas>
- 22 Voir Edward Hammond, "IRRI Seeks Patents on Yield-Boosting Gene Taken from Indonesian Farmers' Rice", Third World Network Info Service on Biodiversity and Traditional Knowledge, 10 mars 2017. URL: <https://www.twn.my/title2/biotk/2017/btk170301.htm>